

ESTUDO DO DESGASTE DE REVESTIMENTO INTERNO DE UM MOINHO DE BOLAS OPERANDO COM ROCHA FOSFÁTICA

SILVA, A.C.¹, SILVA, E.M.S.², SILVA, T.M.³

¹Universidade Federal de Goiás. andreCarlos@catalao.ufg.br

²Universidade Federal de Goiás. elenice@catalao.ufg.br

³Universidade Federal de Goiás. tulyomaia@hotmail.com

RESUMO

A moagem é uma área que sempre teve destaque por representar um dos maiores custos no processamento mineral. O revestimento interno dos moinhos vem tomando maior proeminência devido à sua influência direta na eficiência de moagem e pelo alto custo agregado relacionado ao seu tempo de operação. Uma vez que o desgaste do revestimento não é uniforme, foi realizado o acompanhamento do desgaste do revestimento interno do moinho de bolas (SAG 4,87 x 6,09 m) da empresa Vale Fertilizantes S.A. Unidade Catalão-GO. Tal moinho trabalha com rocha fosfática e o monitoramento se deu através de um dispositivo prático visando à determinação do comportamento do desgaste do revestimento ao longo de toda a extensão do moinho, desde a alimentação até a descarga, bem como a variação em um único perfil de uma placa do revestimento. Observou-se que o desgaste não é uniforme tanto ao longo do moinho quanto em um mesmo perfil, indicando que o maior desgaste ocorre nos primeiros e últimos 1,5 metros, com valores muito próximos. Na alimentação do moinho o desgaste específico foi de 0,60 g/t, na descarga de 0,63 g/t e no do centro do moinho de aproximadamente 0,55 g/t.

PALAVRAS-CHAVE: desgaste de revestimento; revestimento interno; moinho de bolas.

ABSTRACT

The milling is an area that has always stood out due to present as one of the biggest costs in mineral processing industry. The inner lining of the mills has been taking greater prominence due its direct influence on the grinding efficiency and the high aggregate cost related to its operation time. Once the lining attrition is not uniform the monitoring of the lining attrition of the ball mill (SAG 4.87 x 6.09 m) of Vale Fertilizantes S.A. Catalão-GO Unit Company was performed. The mill works with phosphate ore and the monitoring was carried out using a practical device aiming to determine the behavior of lining attrition along the entire length of the mill, from the feed to the discharge, and the profile variation in a single lining plate. It was observed that the lining attrition is not uniform both along the mill and in a lining, indicating that the higher lining attrition occurs in the firsts and lasts 1.5 meters with very close values. At the mill feed the specific lining attrition was equals to 0.60 g/t, in the discharge equals to 0.63 g/t and in the center of the mill around 0.55 g/t.

KEYWORDS: lining attrition; inner lining; ball mill.

1. INTRODUÇÃO

A cominuição é uma etapa indispensável em muitos circuitos de processamento mineral e apresenta três objetivos: atender à especificação granulométrica do material para operações posteriores, aumentar a área superficial das partículas e adequação granulométrica para a comercialização imediata (SILVA, 2003).

Segundo Yahyaei *et al.* (2009), um dos maiores desafios dos moinhos autógenos (AG) e semiautógenos (SAG) é a otimização de sua disponibilidade. A disponibilidade é a razão do tempo em que o equipamento se encontra disponível para operação sobre o tempo total, o qual inclui o tempo ocioso, tempo de manutenção, reposição de corpos moedores, entre outros. O fator que mais influencia reduzindo a disponibilidade do moinho é o tempo de substituição dos revestimentos internos desgastados. Com isso, acrescenta Junior *et al.* (2012), um perfil de revestimento ideal busca melhorar a eficiência da moagem onde, ao mesmo tempo, proporciona uma vida mais longa de proteção, minimizando o desgaste e consequentemente os custos.

Para Luz, *et al.* (2004) os revestimentos internos são elementos essenciais em um moinho, pois desempenham um papel crítico na moagem, cuja finalidade, além de proteger a carcaça do equipamento, é transferir energia potencial aos corpos moedores. Nessa transferência de energia há o movimento relativo das superfícies, gerando atrito, o que ocasiona o desgaste e, em última análise, perda de material tanto do revestimento quanto de corpos moedores.

O presente trabalho visou estudar como o revestimento interno de um moinho secundário de bolas operando com rocha fosfática se desgasta com o passar do tempo, bem como determinar o perfil interno de desgaste dos revestimentos. Através de medições periódicas e cálculos foi possível comprovar que o desgaste não ocorre de forma linear ao longo do moinho de bolas, sendo que o mesmo é mais acentuado na alimentação e na descarga do moinho, que representam o gargalo no tempo de operação do revestimento. Ainda além, foi estudado o desgaste em placas da alimentação, centro e descarga do moinho, permitindo assim traçar o perfil de desgaste nestes pontos.

2. METODOLOGIA

O circuito de moagem da empresa Vale Fertilizantes S.A. Unidade Catalão-GO é compreendido por moagem de barras em circuito aberto, seguido de separação magnética e por moagem secundária em moinho de bolas em circuito fechado com classificação em hidrociclones. O moinho de bolas trabalha a úmido com descarga por *overflow*, possuindo dimensões de 4,87 x 6,09 m (16 x 20 ft), com rotação de aproximadamente 14 rpm e carga circulante de 210% em massa da alimentação nova, sendo o volume da câmara de moagem de 144 m³. O moinho é alimentado com baixo teor de magnetita, uma vez que circuito de moagem situa-se após a separação magnética. Os corpos moedores utilizados são esferas de aço-carbono (3,5% C, 17,5% Cr, 1,9 Mn e 1,0% Si) com diâmetro nominal de 60 mm e dureza superficial de 64 HCR.

2.1. Coleta e análise de dados

O processo de obtenção dos dados foi realizado manualmente a cada parada programada para manutenções preventivas e/ou paradas para manutenções corretivas nos equipamentos da usina. As paradas programadas ocorreram trimestralmente. Durante cada parada foram realizadas medições do desgaste do revestimento interno do moinho e do nível dos corpos moedores dentro do mesmo. As medições foram realizadas em três pontos do moinho: alimentação, centro e descarga, sendo que a mesma era realizada utilizando-se uma régua de medição, disponibilizada pela empresa Weir Minerals, que era a mesma companhia fornecedora do revestimento interno do equipamento. A

régua era composta por sete hastes graduadas verticais, dispostas em espaços equidistantes. Assim era instalada diretamente sobre o revestimento ainda montando no interior do moinho e, após a instalação as hastes eram deslocadas até que as mesmas tocassem a placa (vide figura 1).



Figura 1. Modelo de aferição do perfil do moinho de bolas. FONTE: Weir Minerals.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das medições dos desgastes, em milímetros, calculou-se o desgaste em porcentagem, onde todos os dados obtidos nos três pontos de amostragens foram representados em tabelas, para uma melhor visualização e análise dos dados, demonstrado na tabela I abaixo, com dados da alimentação.

Tabela I. Dados de medição (mm) e desgaste (%) do revestimento na alimentação do moinho.

DATA	HRS OPER. x 10 ³	MEDIÇÕES (mm) e DESGASTE (%)													
		1		2		3		4		5		6		7	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
13/09/11	0,00	89	0,0	121	0,0	139	0,0	141	0,0	139	0,0	121	0,0	89	0,0
04/11/11	1,13	74	38,5	98	36,5	115	28,1	117	25,0	114	23,6	100	21,9	72	26,2
07/02/12	3,29	72	43,6	96	39,7	113	30,4	110	32,3	112	25,5	96	26,0	70	29,2
04/04/12	4,58	70	48,7	95	41,3	108	36,3	106	36,5	106	31,1	82	40,6	67	33,8
22/05/12	5,70	68	53,8	93	44,4	104	40,9	102	40,6	96	40,6	80	42,7	64	38,5
10/07/12	6,75	67	56,4	87	54,0	98	48,0	94	49,0	88	48,1	73	50,0	64	38,5
22/08/12	7,72	65	61,5	86	55,6	89	58,5	84	59,4	74	61,3	63	60,4	57	49,2
27/11/12	9,93	61	71,8	72	77,8	70	80,7	66	78,1	55	79,2	44	80,2	41	73,8
07/01/13	10,83	50	100,0	58	100,0	53,5	100,0	45	100,0	33	100,0	25	100,0	24	100,0
TOTAL	10,83	39	-	63	-	86	-	96	-	106	-	96	-	65	-

Através dos dados obtidos nos três pontos amostrados foram realizados gráficos representando o desgaste ao longo do moinho. Pelo gráfico de porcentagem nos pontos 1 e 7 (vide figura 2), é perceptível que o desgaste ocorreu com crescimento aproximadamente constante nos dois pontos até próximo das 1.000 h. Posteriormente o desgaste no ponto 1 assume um crescimento constante até aproximadamente 9.000 h, onde o ponto 7 se comporta de maneira semelhante, com coeficientes angulares de retas, até próximo a 7.000 h de operação, acentuando outra vez até as 9.000 h. Posteriormente, o desgaste em ambos os pontos admite o mesmo crescimento angular até o final de operação do revestimento.

Mais ao centro do perfil do revestimento, nos pontos 2 e 6, o crescente desgaste também ocorreu até as primeiras 1.000 h de operação. Até aproximadamente 3.000 h o desgaste em ambos os pontos foi quase nulo. A partir desse momento o desgaste ocorre com crescimento aproximadamente constante até o final do período de operação, apresentando um leve crescimento posterior às 10.000 h. Comparadas aos pontos das extremidades, as curvas de desgaste dos pontos 2 e 6 se comportam de forma menos acentuadas.

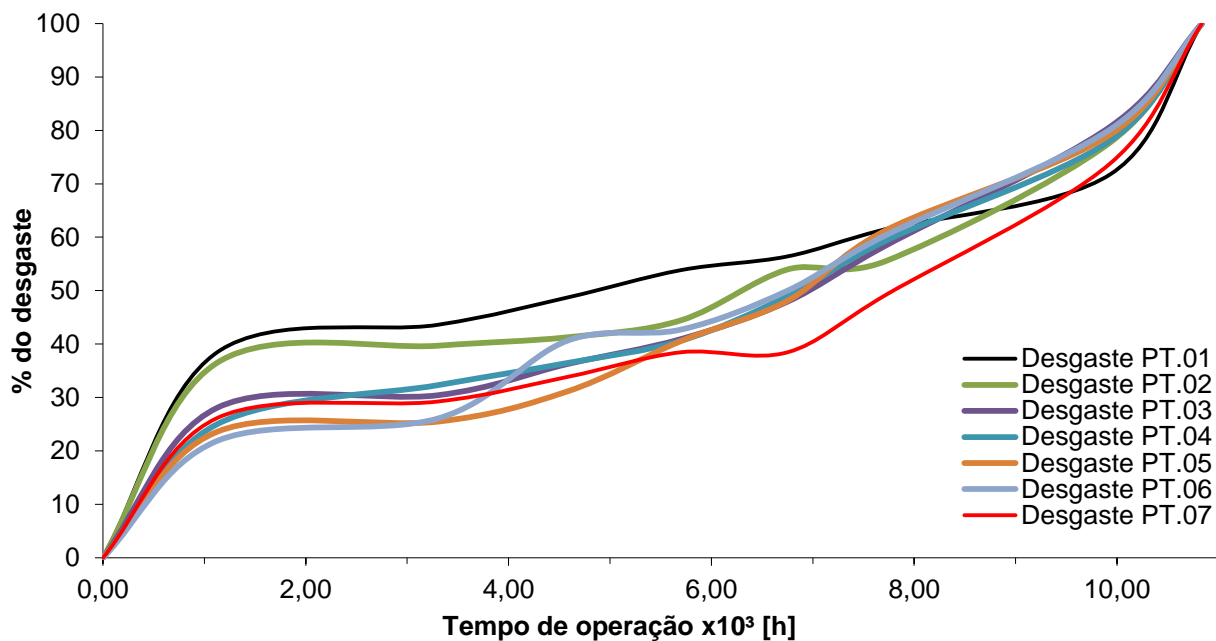


Figura 2. Desgastes pontuais do revestimento na alimentação do moinho.

Nos pontos centrais do perfil do revestimento, 3 e 5, o desgaste é semelhante aos outros pontos nas primeiras 1.000 h sendo aproximadamente nulo até as 3.000h de operação e, posteriormente, em ambos os pontos as curvas de desgaste aproximadamente se equivalem. Nesses pontos o comportamento do desgaste foi mais semelhante aos pontos 2 e 6, caracterizando uma maior uniformidade de desgaste no tempo de operação.

Através da figura 3, no gráfico do desgaste ao centro do moinho, o desgaste nos pontos 1 e 7 ocorre semelhante aos mesmos pontos do perfil de uma placa da alimentação do moinho, mas menos acentuado. Apresentando também um desgaste aguçado nas primeiras 1.000 h, seguindo até aproximadamente 5.000 h com desgaste quase inexistente, avançando com leve crescimento até às 8.000 h de operação e com um crescimento acentuado nas últimas 1.000 h.

Nos pontos mais centrais do perfil, o desgaste ocorre praticamente uniforme, sem grandes alterações significativas, demonstradas nas curvas dos pontos 2 e 6. Apresenta nas primeiras e últimas 1.000 h um desgaste mais acentuado, com crescimentos angulares das curvas semelhantes no intervalo de 10.000 h de operação. Destacando uma particularidade inexistente até o momento, em que ocorre a inversão das curvas de desgaste logo após as primeiras mil horas de operação. Nas curvas de desgastes dos pontos centrais (3 e 5) do perfil, é visivelmente mais perceptível a uniformidade do desgaste, chegando a se sobreporem nas proximidades de 4.000 h de operação do moinho.

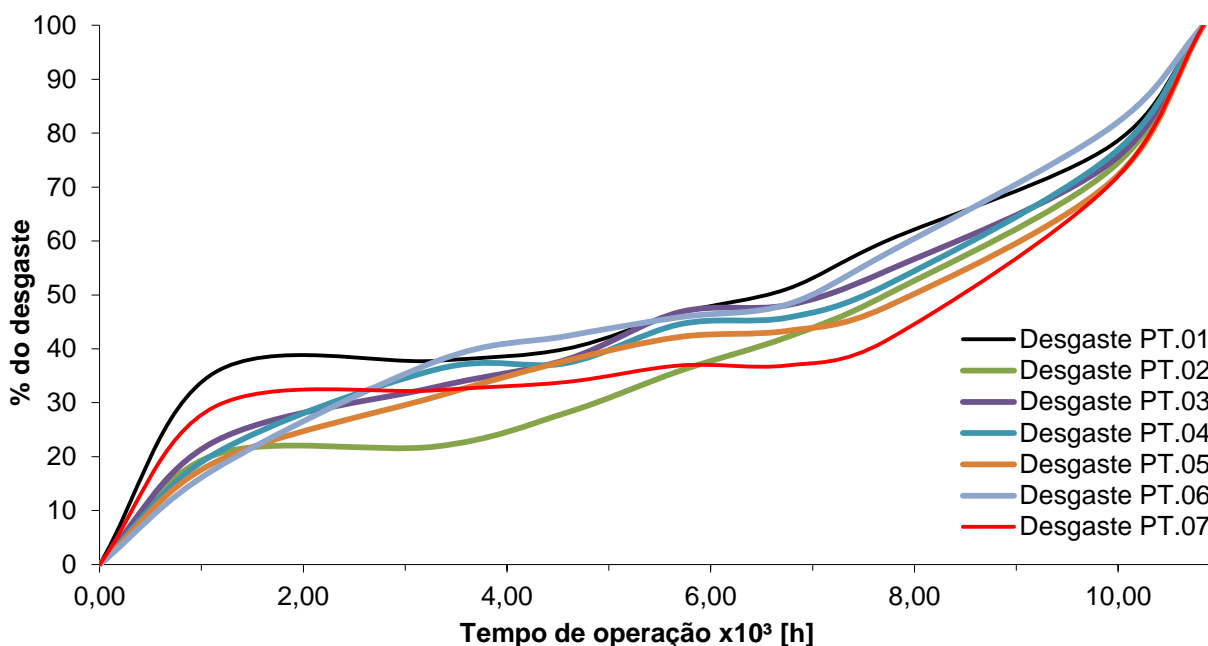


Figura 3. Desgastes pontuais do revestimento no centro do moinho.

No perfil da placa de revestimento da seção de descarga, as curvas de desgaste dos pontos mais externos 1 e 7, se comportam semelhantes aos mesmos pontos de uma placa do centro (figura 4), onde posteriormente as 1.000 h de operação o desgaste se mantiveram com crescimento constante nas posteriores 10.000 h, mas com um desgaste maior ao final da operação, tanto com relação a alimentação quanto ao centro do moinho. Com comportamento semelhante, as curvas de desgaste dos pontos 2 e 6, apresentam crescimento aproximadamente constante ao longo das 10.000 h, exibindo a mesma característica de inversão das curvas de desgaste ocorrida nos mesmos pontos com relação á placa de revestimento do centro do moinho.

Nos pontos mais centrais do perfil de uma placa de revestimento da seção de descarga, pontos 3 e 5, pode-se visualizar que as curvas apresentaram um desgaste mais homogêneo que as curvas dos pontos 2 e 6, chegando a se sobreporem em dois pontos, em aproximadamente 4.000 e 7.000 h de operação.

Na figura 5 caracterizam o perfil do revestimento inicial e final das seções de alimentação, centro e descarga do moinho, ao longo das datas de medições das placas de revestimento, representando as áreas desgastadas. A figura 5a representa os perfis do revestimento da alimentação do moinho. A partir da figura 5b, perfis do revestimento do centro do moinho, comprova-se que o desgaste nesse ponto é menor que na alimentação e também na descarga, devido à área remanescente, representada

pela cor bege, ser menor que a mesma área das figuras 5a e 5b, respectivamente. Através das curvas de representação do perfil do revestimento do moinho, conseguiu-se obter o desgaste ocorrido entre duas curvas. Para uma representação real desses dados, através de um método prático, foi utilizado um programa de análise de imagem.

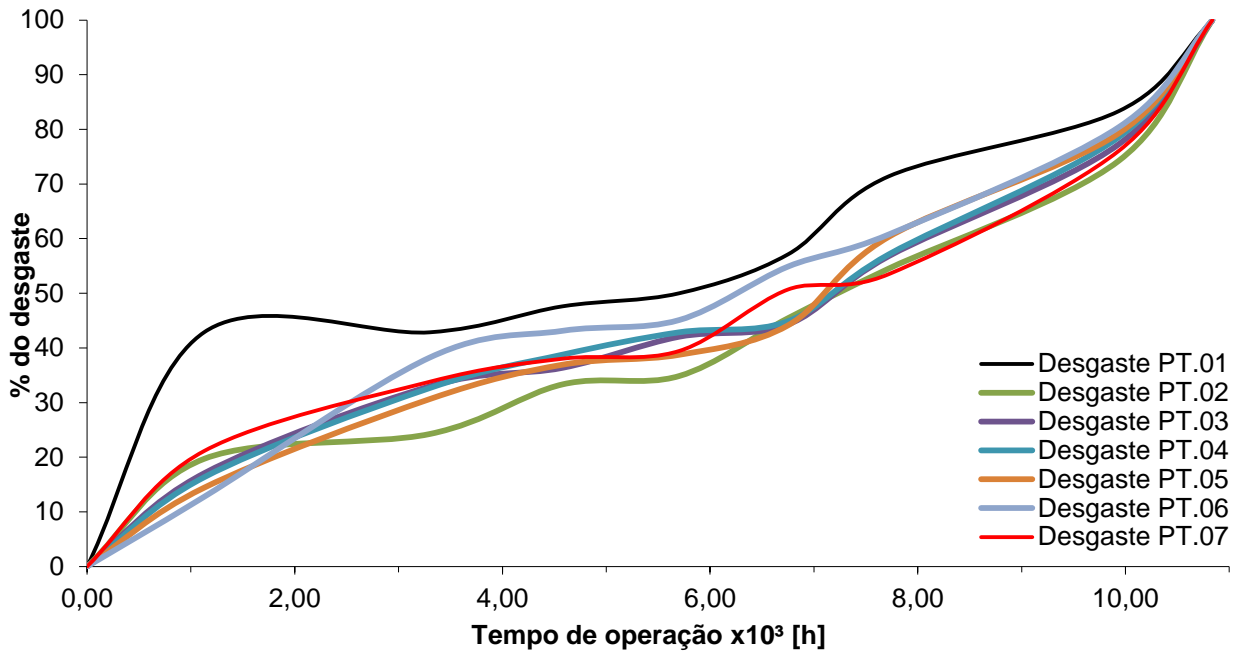
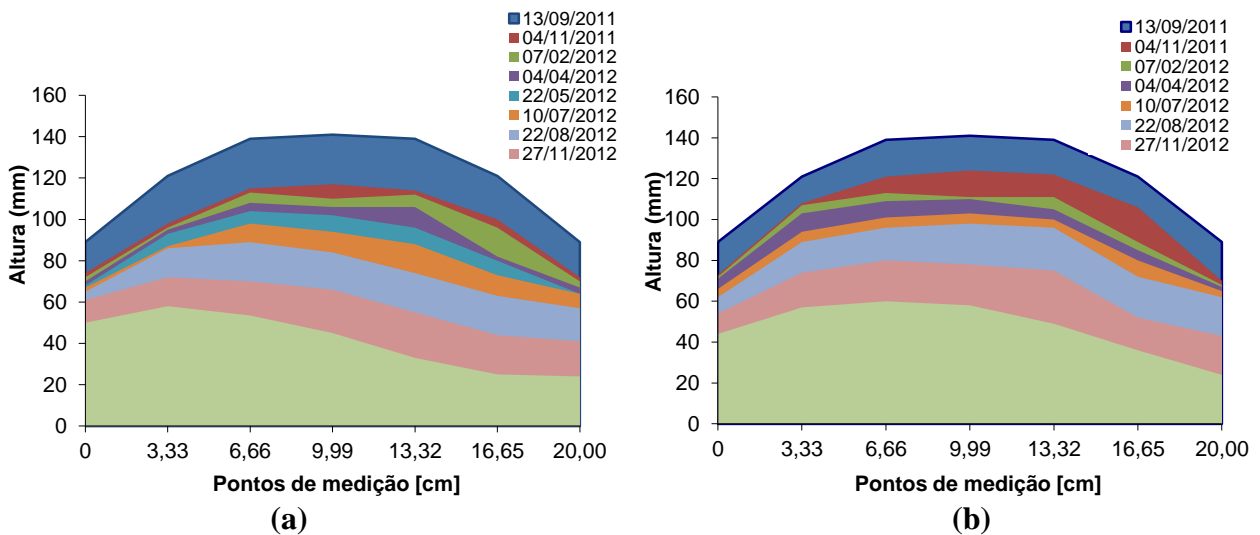


Figura 4. Desgastes pontuais do revestimento na descarga do moinho.



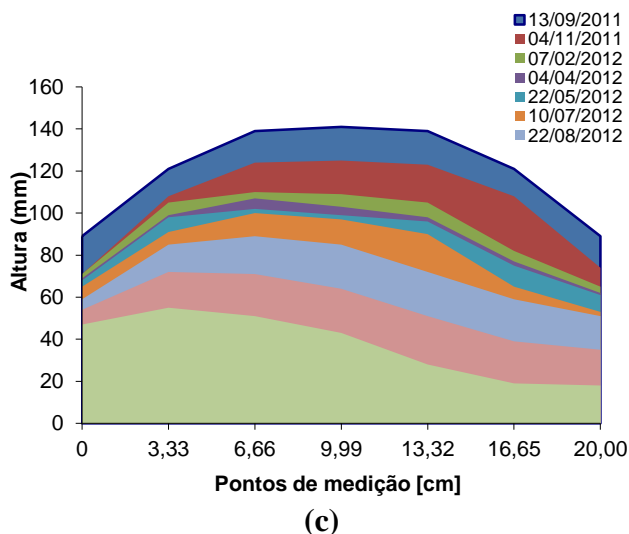


Figura 5. Desgastes do revestimento do moinho: (a) alimentação, (b) centro e (c) descarga do moinho.

A tabela II sumariza o desgaste do revestimento interno do moinho. No revestimento que representa a alimentação do moinho, que apresenta um comprimento de 1.148 mm, o desgaste apresentado foi de aproximadamente 1,22 m³, ao longo das 64 placas que formam a circunferência do equipamento. Esse desgaste representa 112.168,68 mm³/h operada. Levando em conta o material alimentado ao longo do período de operação a cominuição ocorrida foi de aproximadamente 376,87 mm³/t. Através da massa de revestimento, o desgaste no período foi próximo a 0,60 gramas de revestimento por tonelada de material alimentado (0,60 g/t).

No centro do moinho, ao longo de 3.328,2 mm a partir dos 1.148 mm da alimentação, o desgaste ocorrido foi de 3,21 m³, representando em horas operadas por 296.917,44 mm³/h, e levando em conta a massa alimentada um desgaste de 997,60 mm³/t. A taxa de revestimento desgastado foi de 1,60 g/t. O desgaste maior apresentado no centro do moinho é devido a sua maior seção, decompondo para extensão equivalente à alimentação e descarga, que são iguais, a importância de desgaste do revestimento interno equivale a 1,07 m³. Representando uma taxa de aproximadamente 0,55 g/t, o que evidencia o menor desgaste afirmado, uma média de 7% menor que a seção de descarga e alimentação.

Os últimos 1.148 mm do moinho representam a seção de descarga do equipamento, onde o desgaste do revestimento apresentado se equivale ao proporcionado na seção de alimentação, comprovando a afirmação exposta anteriormente. O desgaste ocorrido foi de 1,27 m³, com taxa de 0,63 g/t.

Ao longo de todo o equipamento o desgaste do revestimento interno foi de 2,83 g/t. Isso representa uma massa de aproximadamente 11,47 t de aço e borracha cominuída. Ao todo, o revestimento do moinho possui aproximadamente 18 t, assim conclui-se que 63,72% da massa do revestimento foram desgastadas e a massa restante (36,27%) é descartada. Com isso, apenas 2/3 do revestimento interno é utilizado, o restante (1/3), é sucateada.

Tabela II. Desgaste do revestimento interno do moinho.

MEDIÇÃO	PERÍODO	TON. ALIMEN.	DESGASTE (mm ²)		
			ALIMENTAÇÃO	CENTRO	DESCARGA
1 ^a	13/09 à 04/11	369.510,00	4.421,56	3.218,75	2.948,57
2 ^a	04/11 à 07/02	828.454,80	600,21	1.700,75	2.714,63
3 ^a	07/02 à 04/04	472.087,80	1.059,05	634,87	956,75
4 ^a	04/04 à 10/07	403.463,64	1.990,25	1.230,42	1.569,37
5 ^a	10/07 à 22/08	400.399,38	1.598,48	987,73	1.884,79
6 ^a	22/08 à 27/11	804.712,80	3.307,96	3.528,56	3.460,51
7 ^a	27/11 à 07/01	328.205,40	3.567,68	3.805,47	3.789,92
TOTAL (m³)			1,22	3,21	1,27
TOTAL (mm³/ton)			376,87	997,60	394,63
TOTAL (g/ton)			0,60	1,60	0,63

4. CONCLUSÕES

Através de um método de medição direta com equipamento especialmente concebido para este fim, o perfil do revestimento do moinho pode ser representado visualmente e o seu desgaste mensurado ao longo de toda a sua seção interna, demonstrando a variação nas três seções (alimentação, centro e descarga) e ao longo de uma mesma seção, em função do tempo de operação.

Por meio dos gráficos de representação dos perfis e das imagens demonstra-se que o desgaste ocorre de forma mais acentuada na alimentação e na descarga do moinho. Isso é esclarecido pelo fato da porcentagem de sólidos ser maior nesses pontos. Pelos cálculos apresentados isso também é provado, onde o desgaste na alimentação é de 0,60 g/t, no centro aproximadamente 0,55 g/t (levando em consideração a mesma seção de 1.148 mm), e na descarga de 0,63 g/t, totalizando um desgaste de 2,83 g/t do revestimento interno do moinho de bolas.

Pelos gráficos de porcentagens, é evidente que o desgaste não é uniforme ao longo do tempo na mesma placa, apresentando maior cominuição na extremidade responsável pelo levantamento dos corpos moedores, ocorrendo devido ao maior atrito com os mesmos.

Outras características visualizadas a partir dos gráficos é o desgaste acentuado, nas três seções, nas primeiras e últimas 1.000 h de operação do revestimento interno do moinho. Nas primeiras 1.000 h o desgaste é devido à acomodação do revestimento, diminuindo os ângulos e superfície de contato, e a partir das 10.000 h de operação, é representado pelo desgaste e/ou quebra dos *cap's* metálicos, sendo o acréscimo na espessura dos mesmos uma melhoria realizada em curto prazo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro, imprescindível para o desenvolvimento do presente trabalho, das agências brasileiras de fomento à pesquisa CNPq, CAPES, FAPEG e FUNAPE, à Universidade Federal de Goiás, pelo apoio dado ao mesmo e à empresa Vale Fertilizantes, Unidade Catalão-GO pela liberação da divulgação dos dados.

6. REFERÊNCIAS

JUNIOR, E.A.A.; SANTOS, R.M.; GABRIEL, A.L.; VALENTE, A.S.; FERREIRA, M.C.; DIAS, J.A.; NASCEIMENTO, J.K.; JESUS, J.A.S.; JONHSON, F. Melhoria contínua do projeto, operação e manutenção dos revestimentos de moinho da Jacobina Mineração e Comércio. *Revista Minérios & Minerales*, Belo Horizonte, 2012.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; ALMEIDA, S.L.M. *Tratamento de Minérios - Quarta Edição*. 4. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2004. v. 1. 867 p.

SILVA, A.C. Simulação de moagem implementada a partir do modelo de Austin. Ouro Preto: UFOP, 2003, 198 p.

YAHYAEI, M.; BANISI, S.; HADIZADEH, M. Modification of SAG mill liner shape based on 3-D liner wear profile measurements. *Int. J. Miner. Process*, 2009.

